

## ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ВСКРЫТИЯ НАГОРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ ШТОЛЬНЯМИ

*Габараев О.З., Земляной М.А., Мулухов К.К., Выскребенец А.С., Максимов Р.Н.*

*Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет), Владикавказ*

**Ключевые слова:** вскрытие, классификация способов вскрытия, вскрывающие выработки, вскрытие нагорного месторождения, сдвоенные уступы, труднодоступные запасы, нерабочий борт карьера, доступ к запасам.

**Аннотация.** В условиях прирезки запасов мергеля, залегающих в естественном склоне нагорного месторождения за пределами нерабочего борта карьера, появляется необходимость отработки прирезанных запасов мергеля, запасов минерального сырья, залегающих во временно нерабочем борту карьера и труднодоступных запасов, залегающих как в рабочем, так и нерабочем борту карьера. Конструкция нерабочего борта карьера Новороссийского месторождения мергеля цементного завода «Пролетарий» ОАО «Новоросцемент» представляет собой сдвоенные и строенные нерабочие добычные уступы, разделенные предохранительными и транспортными бермами. Временно нерабочий борт карьера на настоящий момент является погашенным. Угол наклона нерабочего борта карьера составляет 60°. Угол естественного склона нагорного месторождения мергеля колеблется от 25° до 45°. Разработанный способ подготовки запасов к отработке при помощи штолен позволяет обеспечить доступ к нижним горизонтам для отработки труднодоступных запасов минерального сырья, доступ к которым при традиционной технологической схеме отработки сильно затруднен или практически не возможен в ближайшее время. Способ позволяет вовлечь в эксплуатацию временно нерабочие уступы погашенного борта карьера с прирезанными запасами, залегающими в естественном склоне нагорного месторождения.

## SUBSTANTIATION OF METHODS FOR OPENING A NAGORNY DEPOSIT OF MINERAL RAW MATERIALS IN CONDITIONS OF PREPARATION OF RESERVES BY TUNNELS

*Gabaraev O.Z., Zemlyanoi M.A., Mulukhov K.K., Vyskrebeneets A.S., Maksimov R.N.*

*North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz*

**Keywords:** opening, classification of opening methods, opening workings, opening of an upland deposit, double ledges, hard-to-reach reserves, non-working side of a quarry, access to reserves.

**Abstract.** In conditions of cutting marl reserves lying in the natural slope of the upland deposit outside the non-working side of the quarry, there is a need to work out the cut marl reserves, mineral reserves lying in the temporarily non-working side of the quarry and hard-to-reach reserves lying both in the working and non-working side of the quarry. The design of the non-working side of the quarry of the Novorossiysk field of the marl of the Proletary cement plant of OJSC Novoroscement is a double and built non-working mining ledges separated by safety and transport berms. The temporarily non-working side of the quarry is currently redeemed. The inclination angle of the non-working side of the quarry is 60°. The angle of the natural slope of the upland marl deposit ranges from 25° to 45°. The method developed by us for preparing reserves for mining with the help of adits makes it possible to provide access to the lower horizons for mining hard-to-reach reserves of mineral raw materials, access to which is very difficult or practically impossible in the near future with the traditional mining scheme. In addition, the method we have developed allows us to involve in operation temporarily non-working ledges of the quenched side of the quarry with cut reserves lying in the natural slope of the upland deposit.

**Введение.** В условиях прирезки запасов мергеля, залегающих в естественном склоне нагорного месторождения за пределами нерабочего борта карьера, появляется необходимость отработки прирезанных запасов мергеля, запасов минерального сырья, залегающих в нерабочем борту карьера и труднодоступных запасов, залегающих как в рабочем, так и во временно нерабочем борту карьера. Таким образом, появляется необходимость вовлечения в эксплуатацию как запасов мергеля в прирезанных запасах, так и запасов минерального сырья,

залегающих во временно нерабочем борту карьера. С учетом того, что доступ к запасам, залегающим во временно нерабочем борту карьера, расположенных на нижних горизонтах, сильно затруднен или практически не возможен, возникает необходимость определить такие запасы полезного ископаемого как труднодоступные.

### **Материалы и методы исследований**

Конструкция нерабочего борта карьера Новороссийского месторождения мергеля представляет собой сдвоенные и строенные нерабочие добычные уступы, разделенные предохранительными и транспортными бермами. Временно нерабочий борт карьера на настоящий момент является погашенным. Угол наклона нерабочего борта карьера составляет  $60^\circ$ . Угол естественного склона нагорного месторождения мергеля колеблется от  $25^\circ$  до  $45^\circ$ . В условиях применения на карьере существующей традиционной технологической схемы отработки полезного ископаемого рабочая зона карьера разделена на добычные участки по содержанию и величине полезных компонентов в мергеле. Для обеспечения вскрытия труднодоступных запасов, эффективности и полноты отработки месторождения в карьере требуется надежное обеспечение устойчивости карьерных откосов. При этом основной задачей является определение оптимальных параметров откосов с учетом их длительной устойчивости при проведении подготовительных горных выработок в борту карьера. Завышенные углы откосов приводят к развитию оползневых явлений, причиняющих большой материальный ущерб горным предприятиям: нарушается технологический процесс, под оползнем оказываются подготовленные к выемке запасы, требуется переэкскавация оползневых масс, подвергаются разрушению подготовительные выработки, нарушаются безопасные условия труда. С другой стороны, заниженные углы откосов вызывают резкое увеличение объемов вскрышных работ, а также ограничение по земельному и горному отводам не позволяет снижать конечные углы откосов.

Разрабатывая новые варианты технологических схем вскрытия труднодоступных запасов в бортах карьера при помощи подготовительных горных выработок, обеспечивая комплексное освоение недр посредством отработки труднодоступных залежей полезного ископаемого, существует проблема управления напряженно-деформированным состоянием стыковочных зон подземных горных выработок и рабочих зон карьеров.

### **Результаты**

Разработанный нами способ подготовки запасов к отработке при помощи штолен [1] позволяет обеспечить доступ к нижним горизонтам для отработки труднодоступных запасов минерального сырья, доступ к которым при традиционной технологической схеме отработки сильно затруднен или практически не возможен в ближайшее время. Способ вскрытия позволяет вовлечь в эксплуатацию временно нерабочие уступы погашенного борта карьера с прирезанными запасами, залегающими в естественном склоне нагорного месторождения.

Анализ результатов исследования, выполненных на компьютерных моделях, показывает, что зоны стыковки между рабочей зоной карьера и подземными подготовительными выработками характеризуются следующими обобщенными параметрами:

- независимо от того, на каком уровне относительно дна карьера находится горизонт подземных горных выработок, они способствуют разгрузке напряжений в борту и устраняют их опасную концентрацию у нижней бровки, увеличивая между тем концентрацию напряжений в верхней части устья горной выработки;

- проведение горных выработок в борту карьера приводит к перераспределению напряжений в области совместного влияния карьера и подземных горнотехнических сооружений: концентрация их перемещается в кровле горной выработки от устья в глубь массива, вызывая резонанс напряжений от опорного давления, свода естественного равновесия и добычных работ на вышележащих уступах карьера;

- проведение сотрясательного взрывания вызывает появление областей, характеризующихся аномально высоким запасом упругой энергии;

– в результате увеличения протяженности выработки имеет место перемещение напряжений в породах кровли выработки, то есть появление зон с нарастающим и убывающим напряжением. Вследствие изменения напряженно деформированного состояния пород массива появляются зоны релаксации напряжений, которые формируют зоны пластической деформации.

Значительное влияние пространственных параметров объектов вскрытия и разработки на устойчивость откоса и возможность регулирования устойчивостью их изменением предопределяет необходимость учета геометрических размеров элементов систем вскрытия. Размеры зон обрушения определяются пространственными геометрическими параметрами зон вскрытия и первичного силового поля.

Для оценки устойчивости вскрытого и находящегося в эксплуатации борта карьера по методу П.М. Цимбаревича [3] отстраиваются возможные линии сдвижения и вычисляются коэффициенты запаса прочности. Координаты точки на возможной линии сдвига  $X$  и  $Y$  в существующих методиках определяются графоаналитическим методом

Определение координат точек  $X$  и  $Y$  с учетом концентрации нормальных напряжений в породах приконтурной зоны и бокового распора при проведенной вскрывающей выработке (штольни) будет иметь вид:

$$x_i = \left(2 - \frac{h_p}{2b} \cdot K_o \lambda \gamma\right) (h - H_{90}) \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(45 + \varphi_i / 2)}{\sin \beta \cdot \sin(45 - \alpha + \varphi_i / 2)} \cdot \frac{i}{n} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2)}, \quad (1)$$

$$y_i = \left(2 - \frac{h_p}{2b} \gamma\right) \left[ h - (h - H_{90}) \cdot \frac{i}{n} \right] \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2)}, \quad (2)$$

где  $h$  – высота откоса, м;  $H_{90}$  – высота устойчивого вертикального откоса, м;  $K_o$  – коэффициент объемного сжатия,  $h_p$  – высота контура выработки, на которой определяются напряжения, м,  $\gamma$  – плотность пород,  $b$  – высота контура выработки, м,  $\lambda$  – некий коэффициент с размерностью напряжений,  $\beta$  – угол уступа переходной зоны, град.;  $\alpha$  – угол откоса борта карьера, град.;  $\varphi$  – угол внутреннего трения пород уступа рабочей зоны карьера, град.;  $i$  – номер уступа;  $n$  – общее количество уступов, шт.

Методика содержит в себе ограничение:

– по максимальной глубине карьера

$$\sum_{i=1}^n H_i \leq \left( \frac{2C}{\gamma} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \rho}{\sin^2(\alpha - \rho)} \right), \quad (3)$$

где  $C$  – сцепление породы, МПа,  $H$  – максимальная глубина карьера (суммарная глубина уступов), м.;  $\rho$  – угол внутреннего трения между слоями пород, град.;  $\gamma$  – угол падения залежи мергеля, град.

На основании проведенных исследований и анализа полученных данных разработаны технологические способы вскрытия труднодоступного полезного ископаемого и сведены в таблицу 1, позволяющие повысить эффективность управления устойчивостью конструкции рабочей зоны карьера [4-10].

Неравномерный характер распределения породообразующих элементов ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{SO}_4$ ) в телах полезного ископаемого, слагающих приоткосный массив горных пород является причиной неоднородности поля напряжений вокруг горнотехнического сооружения, входящего в систему, которое связано как со строением массива, так и с процессом деформирования пород и с технологическим участием сооружения в горно-технологическом процессе [2, 11].

Разработанная тенденция условий подготовки запасов минерального сырья позволяет осуществить оценку условий крепления и разупрочнения массива горных пород, вмещающего горизонтальные горные выработки – штолен, существенно повысив надежность их оценки в начальной стадии и в предельном случае функционирования системы «вскрытие труднодоступных запасов» в зависимости от особенностей проявления горного давления, технологических факторов. Таким образом, впервые с таких позиций осуществлена

систематизация и обобщение информации о геолого-геомеханических условиях проходки и крепления подготовительных горных выработок (штолен), открывающая возможности оценки направлений дифференцированного выбора конструктивно-технологических решений по поддержанию и разупрочнению массива горизонтальных горнотехнических в зависимости от этапа вскрытия труднодоступных запасов полезного ископаемого.

Табл. 1. Классификация способов вскрытия нагорного месторождения

Типы способов вскрытия	Основные классификационные признаки				Рациональные условия применения
	Расположение выработок относительно контура карьера и конструкция выработок	Форма выработки в плане	Стационарность	Число выработок и место их расположения	
II	Капитальная ниша	Горизонтальная, наклонная	Капитальная	Одиночные, групповые, центральные или фланговые	Нагорное месторождение, верхние горизонты глубоких карьеров (для проведения штольни с размещением шпуровых, скважинных, камерных зарядов ВВ при проведении сотрясательного взрывания или взрыва на сброс горной массы)
		Врубовая, отбойная, оконтуривающая	Временная	Одиночные, групповые, центральные или фланговые	»
III	Отрезная щель	Вертикальная, наклонная, горизонтальная	Временная	Фланговая, центральная, комплексная	Вскрытие нагорных месторождений, глубоких карьеров

Для обоснования рациональных параметров (высота уступа, ширина крайних заходок) с учетом понижения фронта горных работ и пространственным распределением содержания полезных компонентов в мергеле необходимо установить зависимости высоты уступа и ширины заходки в забое мергеля от величины содержания пустых пород в извлекаемых запасах при вскрытии труднодоступных запасов мергеля.

Так как тела полезного ископаемого (мергеля) имеют разную величину содержания порообразующих элементов и горизонтальную мощность от 10 до 100 метров, то главным условием при обосновании контура крайних заходок и высоты уступа при вскрытии труднодоступных запасов является величина примешиваемых запасов с содержанием пустых пород.

Максимальное значение ширины крайней заходки  $A_1$  определяется в соответствии с допустимым содержанием пустой породы в комплексе элементов добытого сырья

$$A_1 = \frac{\mu h}{\psi_1} \cdot \sqrt{\frac{\mu^2 h^2 + \mu h \psi_1 (2b + h \operatorname{ctg} \alpha)}{\psi_1^2}}, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – угол падения залежи мергеля, град.;  $\mu$  – содержание в исходной горной массе пустых пород, доли ед.;  $h$  – высота добычного уступа, м.;  $\alpha$  – угол откоса рабочего уступа, град.;  $\psi_1$  – прилежащая сторона породной призмы, м.;  $b$  – ширина выработки, м.

Проведя расчеты по приведенным формулам построим зависимость ширины крайней заходки  $A_1$  от высоты добычного блока, вмещающего труднодоступные запасы (рис. 1). На приведенной зависимости видно, как изменяется ширина заходки от высоты добычного блока при интервалах ширины 10 и 100 метров.

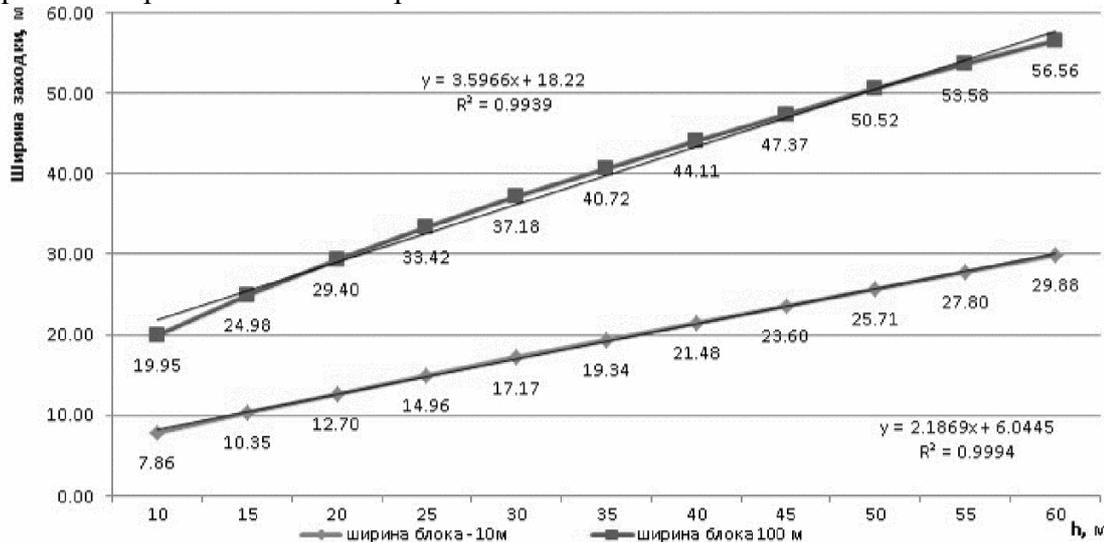


Рис. 1. Зависимость ширины крайней заходки  $A_1$  от высоты добычного блока при ширине блока 10 и 100 м

## Выводы

Изменяя параметры ширины добычного блока и его высоты появляется возможность изменения ширины заходки при отработке труднодоступных запасов. Установлены линейные зависимости ширины крайней заходки  $A_1$  от высоты добычного блока. Составлена классификация способов вскрытия нагорного месторождения минерального сырья.

## Заключение

Разработанные способы вскрытия запасов позволят обеспечить отработку труднодоступных запасов минерального сырья, отработка которых невозможна или сильно затруднена в настоящее время. Использование вариантов вскрытия, приведет к концентрации горных работ на месторождении, что позволит увеличить производительность карьера по минеральному сырью и безопасность ведения горных работ. Вместе с тем, качество добытого сырья будет удовлетворять требованиям технологических регламентов перерабатывающих заводов, так как появляется возможность регулировать параметры ширины крайней заходки от высоты добычного блока и его ширины, тем самым изменяя содержание полезных компонентов в добытом минеральном сырье.

## Список литературы

1. Земляной М.А., Разоренов Ю.И. Обоснование способа вскрытия отдельных пластов мергеля в условиях проектирования решения по выбору направления развития фронта горных работ (на примере Новороссийского месторождения мергеля) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №9. – С. 41-44.
2. Земляной М.А. Управление напряженно-деформированным состоянием массива в условиях подготовки запасов мергеля для производства цемента при помощи штолен (на примере Новороссийского месторождения мергеля) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №4. – С. 29-33.
3. Казикаев Д.М. Комбинированная разработка месторождений: Учебник для вузов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, изд-во «Горная книга», 2008. – 360 с.
4. Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд: Учебник для вузов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2005. – 542 с.

5. Гитис Л.Х. Статическая классификация и кластерный анализ. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. – 157 с.
6. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: Учебник для вузов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, изд-во «Горная книга», 2008. – 683 с.
7. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Особенности открытых горных работ при комбинированной геотехнологии // Горный журнал. – 2009. – № 11. – С. 14-18.
8. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 414 с.
9. Ялтанец И.М., Пастихин Д.В., Исаева Н.И. Открытые горные работы при строительстве: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во «Горная книга», 2014. – 384 с.
10. Птичников Е.В., Калинин М.А. Экономическое обоснование внедрения комбинированной технологии с использованием оборудования с гибким рабочим органом на карьерах прочных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 4. – С. 20-24.
11. Габараев О.З., Земляной М.А., Сахнов А.В., Зассеев И.А., Максимов Р.Н. Обоснование блочной системы разработки нагорного месторождения минерального сырья в условиях подготовки запасов штольнями // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №26. – С. 127-132.

### References

1. Zemlyanoy M.A., Razorenov Yu.I. Substantiation of the method of opening individual marl beds in the conditions of designing a decision on choosing the direction of development of the mining front (using the example of the Novorossiysk marl field) // Mining Information and Analytical Bulletin. 2011, no. 9, pp. 41-44.
2. Zemlyanoy M.A. Management of the stressed-deformed state of the massif in the conditions of preparing marl reserves for cement production using adits (on the example of the Novorossiysk marl deposit) // Mining Information and Analytical Bulletin. 2010, no. 4, pp. 29-33.
3. Kazikaev D.M. Combined development of deposits: Textbook for universities. – М.: Publ. house of Moscow State Mining University, publ. house "Mountain Book," 2008. – 360 p.
4. Kazikaev D.M. Geomechanics of underground ore development: Textbook for universities. – М.: Publ. house of Moscow State Mining University, 2005. – 542 p.
5. Gitis L.H. Static classification and cluster analysis. – М.: Publ. house of Moscow State Mining University, 2003. – 157 p.
6. Popov V.N., Shpakov P.S., Yunakov Yu.L. Management of stability of career slopes: Textbook for universities. – М.: Publ. house of Moscow State Mining University, publ. house "Mountain Book," 2008. 683 p.
7. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Features of open-pit mining in combined geotechnology // Mining Journal. – 2009. – No. 11. - pp. 14-18.
8. Melnikov N.V. A brief guide to open-pit mining. 4th ed., reprint and additional. – М.: Nedra, 1982. – 414 p.
9. Yaltanets I.M., Pastikhin D.V., Isaeva N.I. Open-pit mining during construction: Textbook for universities. – М.: Publ. house "Mountain Book ", 2014. – 384 p.
10. Ptichnikov E.V., Kalinin M.A. Economic justification for the introduction of combined technology and the use of equipment with a flexible working body in quarries of durable rocks // Mining Information and Analytical Bulletin. 2005, no. 4, pp. 20-24.
11. Gabaraev O.Z., Zemlyanoi M.A., Sakhnov A.V., Zasseev I.A., Maksimov R.N. Substantiation of the block system for the development of a nagorny deposit of mineral raw materials in conditions of preparation of reserves by tunnels // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 26, pp. 127-132.

### Сведения об авторах:

### Information about authors:

<b>Габараев Олег Знаурович</b> – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела	<b>Gabaraev Oleg Znaurovich</b> – doctor of technical sciences, professor of the Department of mining
<b>Земляной Михаил Александрович</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела	<b>Zemlyanoi Mikhail Alexandrovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mining
<b>Мулухов Казбек Казгиреевич</b> – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела	<b>Mulukhov Kazbek Kazgireevich</b> – doctor of technical sciences, professor of the Department of mining
<b>Выскребенец Александр Степанович</b> – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела	<b>Vyskrebeneets Alexander Stepanovich</b> – doctor of technical sciences, professor of the Department of mining
<b>Максимов Руслан Николаевич</b> – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела	<b>Maksimov Ruslan Nikolaevich</b> – doctor of technical sciences, professor of the Department of mining
gabaraev59@mail.ru	

Получена 11.08.2024